

# 液体誘電体中絶縁破壊前駆現象のBubble Chamberによる研究

著者	室岡 義広
号	11
発行年	1965
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/10959">http://hdl.handle.net/10097/10959</a>

氏 名 ( 本 籍 )	ひろ 室	おか 岡	よし 義	ひろ 広 ( 山梨県 )
学 位 の 種 類	工	学	博	士
学 位 記 番 号	工	第	1 1	号
学 位 授 与 年 月 日	昭和 4 0 年 6 月 2 日			
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 5 条第 2 項該当			
最 終 学 歴	昭和 3 3 年 3 月 東北大学大学院工学研究科 ( 修士課程 ) 修了			
学 位 論 文 題 目	液体誘電体中絶縁破壊前駆現象の Bubble Chamber による研究			
論 文 審 査 委 員	教授(主査)	八	田	吉 典
	教 授	麻	生	忠 雄
	教 授	高	野	知 彦
	教 授	長	尾	重 夫
	教 授	木	村	一 治

---

## 論 文 内 容 の 要 旨

### 第 1 章 緒 論

液体誘電体中の電気伝導現象は電気工学の分野において重要な研究課題であり、物理学の分野においてもその本質を知る上に重要な問題として、多くの研究がなされている。

特に液体誘電体の絶縁破壊の問題は高電圧機器の設計を左右する大きな問題として従来から注目されている。一般に液体中の放電破壊は放電路中に高電流が流れるため、電子やイオンの運動をもとに液体の絶縁破壊機構を知ることは非常に困難であるとされている。そこで液体が放電破壊する直前の現象を知ることが出来れば、そのことから破壊機構が解明出来るものと考えられている。

かかる点から筆者は新しい試みとして、泡箱を用いて、液体誘電体中の電気伝導機構を研究することに着手した。

周知のごとく、泡箱は近年原子物理学の分野において高エネルギー粒子の飛跡測定法として考案されたものである。この機構は霧箱のそれと似ている。そこで霧箱を用いて、気体中の放電現象の電子なだれやストリーマの観測する実験が行なわれているように、泡箱を液体中の絶縁破壊の研究へ応用することを試みた。

筆者は、この泡箱に高速度カメラを併用することにより Cathode emission によるものと思われる現象を撮影することに成功した。また最近開発された P Z T 磁器を用いて泡箱の動作条件を知ることが出来たので、泡の発生状態も明白にすることが出来た。

## 第2章 絶縁破壊前駆現象に関する諸説

一般に純粋な液体絶縁物中で平行平板電極を用い、電極間に直流電圧を印加したときの電圧電流特性をとると、(I) オームの法則にしたがう領域、(II) 電流飽和の領域、(III) 電流が急激に増加し破壊にいたる領域の3つに分けられることが知られている。

特に領域 (III) においては、わずかな電圧の上昇に対し、電流は急激に増加し、ついには放電破壊となるもので、いわゆる破壊前電流と呼ばれている。

従来からこの領域の研究も数多くなされているが、いまだ系統だった形にまとまっていない。中でも Baker and Boltz, Le Page and Du Bridge, House の理論などが良く知られている。これら理論の大筋のところは一致している。

すなわち、高電界中の電気伝導は Cathode emission による電子が主に伝導にあずかるものと考えられている。

## 第3章 Bubble Chamber の理論

泡箱は第1章に略述した如く、原子核物理学の分野において高エネルギー粒子の飛跡測定法として考案されたもので、霧箱と原子核乾板の両方の長所を兼ねそなえた測定装置である。

Glaser は過熱状態にある液体の不安定な平衡状態を利用すれば、荷電粒子の飛跡にそって泡の発生することに着目して、霧箱の霧の発生の理論と類似の理論を展開した。

その後 Seitz は荷電粒子のもつ運動エネルギーが粒子の飛跡にそって微小球をつくり、これが泡核になると考えて理論を展開している。

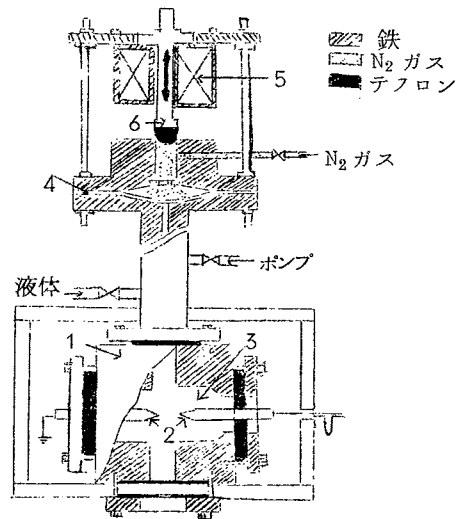
何れにしても最初は初めには表面張力の作用と荷電粒子の作用によって成長することが報告されている。

## 第4章 実験方法

実験に使用した泡箱は第1図に示すごとく主要部分が軟鉄で作られた一辺の長さ8 cmの立方体(1)であって、中心部は試料の液体および電極を挿入するため、50 ccの空洞(3)を掘り、6方に観測および電極配置用の直径2 cmの窓をあけたものである。おもな機構は、泡箱の左右窓側から電極(2)を対向させ、電極間におこった現象を下側から閃光光線で照射し、手前側から高速度カメラで撮影する。他方液体の膨脹は泡箱の上方約20 cmのところに内径2 mmの鉄パイプを連通せる膨脹弁(4)で行ない、これは高速カメラおよび電極間に印加する電圧、閃光光線に同期して動作するように電磁石制御方式(5)、(6)になっている。

泡箱内の液体の動作状態を明白にするため、熱電対を泡箱内部に挿入して動作温度を正確に測定し、さらに液体が膨脹したときの液体の圧力変化は最近開発されたP Z T磁器により測定を容易ならしめている。

この実験に使用した日立16 mm高速度カメラ(1秒間に10,000コマ撮影)は泡箱内に起った現象の撮影と同時に、同一フィルム上にシンクロスコープの電圧および電流波形を記録できる。したがって過熱状態の液体中に高電界を印加することによって発生した泡核が、巨視的な大きさに成長する時間の測定を容易ならしめている。

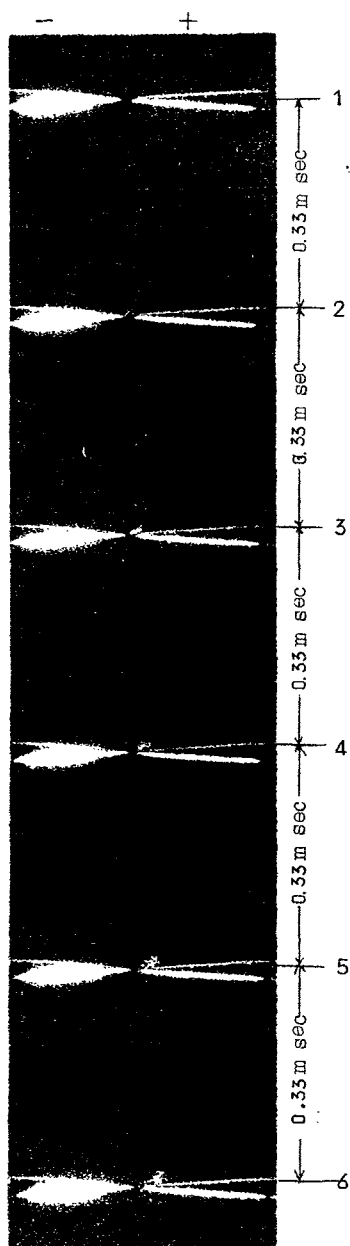


第1図 Bubble Chamber と制御装置の概略図

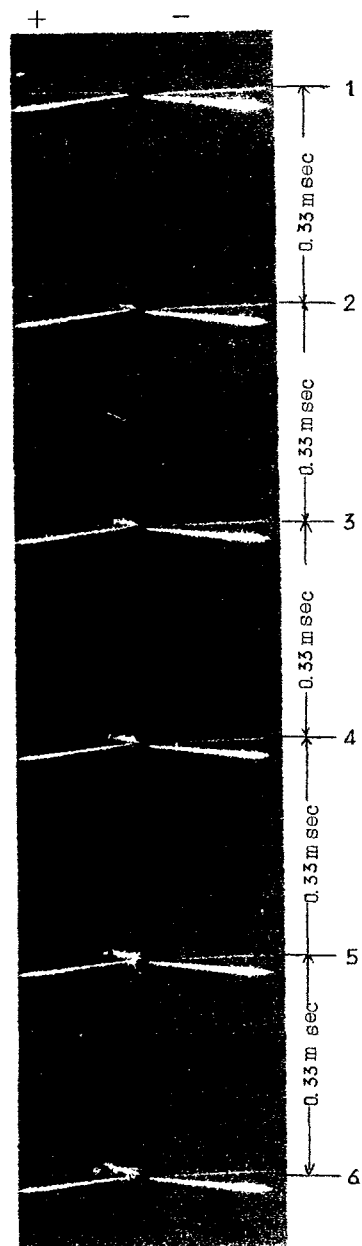
## 第5章 実験結果

130 °C 13  $kg/cm^2$  の加熱高気圧になっている泡箱内の液体を急激に膨脹させたとき、理想的にはある時間の間液体は大気圧で過熱状態になるはずである。P Z T磁器によって測定した液体の圧力—時間特性曲線によると、膨脹制御用電磁コイルの電流を切ってから8 m sec後に液圧が減少し始め、10 m sec後から急激に減圧し12 m secまでの間約7 m sec間過熱状態が続き最低の気圧となつてから急激に昇圧する。そして泡箱内の液体が最も大きな圧力変化をしたときの値は約10  $kg/cm^2$  である。

泡箱内に挿入した電極は球、平板、針状から出来たもので、その組合わせによってそれぞれの



第 2 图



第 3 图

針 对 針 電 極

極性効果を観測した。その結果、球対球、平板対平板によって生じた泡図形は電界の最も強い電極の中心線の近くに正負両極側から進展した泡図形が認められ、針対平板電極の場合、針電極を正にしても負にしても常に平板側から発生したイオンによる泡図形が観測された。しかも同一実験条件では平板を正極にした方が、負極にした場合より発泡しやすい結果を得た。

また針対針電極における高速度カメラによる観測結果によると、第2、3図に示すごとく常に負極側から正極側に進展している泡図形が観測されている。この現象は約50回高速度カメラフィルム上に記録している。しかもこの時の針先の電界強度は電極の構造から理論的に計算すると約  $1.6 \times 10^6 \text{ V/cm}$  以上になっている。なおこの現象と同時に電極間に印加したパルス電圧波形を同一フィルム上に記録して、過熱状態 ( $135^\circ\text{C}$ ,  $2 \text{ kg/cm}^2$ ) の液体中に電圧を印加してから泡が観測可能な大きさに成長するまでの時間を測定したところ約  $0.2 \sim 0.8 \text{ m sec}$  要することが判った。

## 第6章 討 論

以上の実験で得た顕著な現象は次の如くに分けられる。

- (1) 泡箱内の液体の過熱状態は  $7 \sim 8 \text{ m sec}$  間持続する。
- (2) 泡の発生率が電極の表面積の増加と共に増加している。
- (3) 一般に球とか平板電極の場合、泡は両電極の表面から電極面に直角方向に発生し、電気力線にしたがって移動する傾向を示している。
- (4)  $0.3 \text{ MV/cm}$  以下の電界中において、正極側から発生した泡図形は負極側から発生したものよりよく伸びている。
- (5) 針対針電極の場合、陰極からの Cathode emission によるものと思われる現象が観測された。
- (6) 過熱状態の液体中に高電圧パルスを印加した時、電圧を印加してから泡が観測可能な大きさに成長する時間は  $0.2 \sim 0.8 \text{ m sec}$  である。
- (7) 球対球電極の場合、電極を脱気したときの泡数は電極を脱気しないときより発生しにくい。

## 第7章 絶縁破壊前駆現象の機構

絶縁破壊前駆現象の機構に関する理論の中でほぼ一致しているところは、第2章に略述したとおりである。すなわち高電界中の電気伝導は主に Cathode emission によるものである。勿論 Onsager のように解離現象から論じている別な見解をもっている研究者も多い。

ところでこの分野の先覚者である Nikuradse の電極間間隙全体にわたる衝突電離説と House の  $1.0 \text{ MV/cm}$  以下の電界では電極間に電離がおこらないと言う二つの逆説は興味がある。純粋の液体中では他の多くの研究者の実験結果から考えてみると House の説が正しいと思われる。このこ

とは筆者の実験結果からも言えることである。

また  $1.2 \text{ MV/cm}$  以上になると電離現象が表われて伝導電流が急激に増大すると云う House の理論が正しいものとするならば、筆者の実験において、針対針電極を用いた場合、正負とも同一構造のものを使用しているのに、陰極側と同じく陽極側にも電離がおこって泡が発生するはずである。しかも陰極側からの電子放射の影響が、両電極近くの電離の影響より少ないものとするならば、陽極側も陰極側も同様な泡図形が現われるものと考えられる。実験結果によると常に陰極側から発生し陽極側へ進展しているから、電子放射による影響の方が両電極での電離による影響よりはるかに大きいことを示している。

いずれにしても、陰極からの電子放射の現象が高電界の電気伝導の主体となることが考えられる。筆者はこの現象を実際に写真に撮影した。この電子放射は一体何が原因でなるのか、これは更に多くの実験を重ね、多くの研究者が協力して解明せねばならぬ問題であろう。

## 第8章 工 学 的 意 義

液体誘電体中の絶縁破壊前駆現象の研究は、液体中の絶縁破壊機構を解明することに主たる目的を有している。一般に電気機器に用いられている液体絶縁物は絶縁油で、多くの不純物を含んでいるので絶縁耐力も低い値を示している。したがって絶縁物を出来るだけ純度の高い状態にして使用する方向に進んで行く、またその液体が色々の物質から形成されている絶縁である場合には、放電現象の解析が難しくなるので、気体や固体の研究に見られるように、次第に単原子・分子から成る液体絶縁物の研究の方向へと進み、絶縁破壊の問題は最終的には物理学の分野で考えているような本質的な方向へと向けられて行く。かかる点から筆者の研究は本質的な液体の絶縁破壊の問題を解明する第一段階と考えられる。

## 第9章 結 論

本研究によって得た主な結果を記述すると次の如くなる。

- (1) P Z T 磁器を用いることにより、エーテル泡箱内の液体の圧力変化を直接測定することに成功した。(動作温度が高いため、以前の研究は放射線照射法で測定されている) このことから泡箱の動作条件を明白にすることが出来た。
- (2) 筆者の用いた "キタナイ型" のエーテル泡箱で  $135^\circ\text{C}$  において約  $7 \text{ m sec}$  間過熱状態が持続出来た。しかも、この過熱状態の液体中に高電圧を印加したとき、電圧を印加してから泡が巨人的大きさに成長するまでの時間として  $0.2 \sim 0.8 \text{ m sec}$  要した。
- (3) この過熱状態の液体中におけるイオンの移動度は  $2.1 \sim 5.6 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$  であった。

- (4)  $0.3 \text{ MV/cm}$  以下の電界において純粋な液体中の電気伝導は、電極に吸着あるいは内蔵したガスが電離して出来たイオン伝導が主体になっている。
- (5)  $1.0 \text{ MV/cm}$  以上の電界になると陰極からの電子放射による電子伝導が主体になってくるものと言えよう。



## 審 査 結 果 の 要 旨

液体誘電体における電気伝導現象の解明は、電気工学の基礎として重要な研究課題の一つであるが特に強電界を印加されたときの絶縁破壊前の電気伝導機構は、高電圧機器の設計と関連して興味ある問題であり、古くから研究されている。しかし液体誘電体中の高電界下にある陰極から果して電子が放射されるか否かは、現象解明において極めて重要な点であるにも拘らず、実験的確認をうることは非常に困難であるため未だほとんどなされていない。

筆者は、近年原子核物理学の分野で高エネルギー粒子の飛跡測定法として、Glaser によって開発された Bubble Chamber（以下あわ箱と訳す）をこの現象究明に応用することを試み、液体中陰極よりの電子放射の現象の究明を中心として基礎的実験研究を行ってきた。本論文はこれを取りまとめたもので、全編9章よりなる。

第1章は緒論であり、第2章は、液体誘電体の絶縁破壊の前駆現象に関する諸学説について述べたものである。

第3章では、あわ箱の原理について述べ、液体誘電体の研究に応用しうることを論じている。

第4章では、この研究のために試作されたあわ箱の構造、動作方法を中心として実験方法について述べ、特にあわの成長速度測定法、あわ箱内の温度、圧力変化の測定法、電極の脱気法について述べている。

第5章は、これらの方法によって得られた実験結果について述べたものであり、第6章は、それに関する討論である。すなわち、あわ箱内の液体の過熱状態は、約7～8 msの間持続することがP Z T圧電素子によって測定されたので、その間を破壊前駆現象の解明に利用しうるが、球又は平板電極を用いた場合は、あわは電極表面に吸蔵された気体の放電により正負イオンが供給されると考えられ、また針電極の場合は、陰極から電子放射が行なわれるものと考えられる。あわ図形から求めたイオン移動度も従来他の方法で求められたものと、ほぼ等しい値を得ている。

第7章では、上記実験結果に基づいて前駆現象の機構について考察しているが、過熱状態にある液体誘電体においては、絶縁破壊前  $100\text{MV/cm}$  以上の電界下で陰極からの電子放射が実験的に確認されたものと認めることが出来る。

第8章は、本研究の工学的意義について述べたものであり、第9章は結論である。

以上を要するに本論文は液体誘電体絶縁破壊の前駆現象をあわ箱を用いた独創的な実験手法によって研究し、電極における電子或いはイオンの生成及移動について、多くの興味ある実験結果を得、その結果を論じたもので、液体誘電体の電気伝導現象に関し多くの重要な知見を加え、電気工学、特に高電圧工学に寄与するところが少くない。

よって本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。